(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

УДК: 661.862.321:628.162 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.36

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ОКСИД АЛЮМИНИЯ

Исаева Нурхон Фархатовна
Доктор филофии по техническим наукам, старший научный сотрудник Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии,
Ташкент, Узбекистан
E-mail: nurhonisaeva@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8513-6975

Каримов Маъсуд Убайдулла угли
Доктор технических наук, профессор, Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии,
Ташкент, Узбекистан

Джалилов Абдулахат Турабович
Доктор химических наук, профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан
Директор Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В данной научной работе рассматриваются экологические и технологические аспекты утилизации алюмосодержащих отходов нефтегазовой и химической промышленности. Основное внимание уделено синтезу коагулянта — полиалюминия хлорида (ПАХ) — из местного сырья, содержащего оксид алюминия. Разработанная технология включает щелочной гидролиз с последующим кислотным осаждением, что позволяет эффективно использовать техногенные отходы и снизить нагрузку на окружающую среду. Проведены ИК-спектроскопические и рентгеноструктурные исследования полученного коагулянта, подтверждающие его химическую природу и аморфную структуру. Работа направлена на решение актуальных задач водоочистки, ресурсосбережения и внедрения экологически чистых технологий.*

Ключевые слова: *полиалюминий хлорид, коагулянт, алюмосодержащие отходы, очистка сточных вод, оксид алюминия, натрий алюминат, ИК-спектроскопия, XRD, экологическая безопасность.*

TARKIBIDA ALYUMINIY OKSIDI BO‘LGAN MAHALLIY XOMASHYODAN KOAGULYANT OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Isayeva Nurxon Farxatovna
Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti katta ilmiy xodimi, Toshkent, O‘zbekiston

Karimov Ma’sud Ubaydulla o‘g‘li
Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti texnika fanlari doktori, professor,
Toshkent, O‘zbekiston

Jalilov Abdulahat Turabovich
Kimyo fanlari doktori, professor, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi akademigi Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti direktori,
Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu ilmiy ishda neft-gaz va kimyo sanoati aluminiy saqlovchi chiqindilarini utilizatsiya qilishning ekologik va texnologik jihatlari ko‘rib chiqilgan. Asosiy e’tibor aluminiy oksidi saqlovchi mahalliy xomashyodan polialuminiy xlorid (PAX) koagulyantini sintez qilishga qaratilgan. Ishlab chiqilgan texnologiya ishqoriy gidroliz va keyinchalik kislotali ishlov bosqichlarini o‘z ichiga oladi, bu esa texnogen chiqindilarni samarali qo‘llash va atrof-muhit yukini kamaytirish imkonini beradi. Olingan*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

koagulyantning kimyoviy tabiati va amorf tuzilishi IK-spektroskopiya va rentgenostruktur tahlillar orqali tasdiqlangan. Ushbu ish suvni tozalash, resurslarni tejash va ekologik toza texnologiyalarni joriy etishga qaratilgan dolzarb muammolarni hal etishga yo'naltirilgan.
Kalit so'zlar: *polialuminiy xlorid, koagulyant, aluminiy saqlovchi chiqindilar, oqova suvlarni tozalash, aluminiy oksidi, natriy alyuminat, IK-spektroskopiya, XRD, ekologik xavfsizlik.*

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR OBTAINING A COAGULANT FROM LOCAL RAW MATERIALS CONTAINING ALUMINUM OXIDE

Isaeva Nurkhon Farkhatovna
Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior Researcher at the Tashkent Chemical Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Karimov Masud Ubaydulla ugli
Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Chemical Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Djalilov Abdulakhat Turabovich
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Director of the Tashkent Chemical Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *This scientific work examines the environmental and technological aspects of the utilization of aluminum-containing waste from the oil, gas, and chemical industries. The main focus is on synthesizing the coagulant — polyaluminum chloride (PAC) — from local raw materials containing aluminum oxide. The developed technology involves alkaline hydrolysis followed by acidic precipitation, enabling the efficient use of industrial waste and reducing environmental burden. Infrared spectroscopy (IR) and X-ray diffraction (XRD) studies were conducted on the obtained coagulant, confirming its chemical nature and amorphous structure. The study addresses current challenges in water purification, resource conservation, and the implementation of environmentally friendly technologies.*
Keywords: *polyaluminum chloride, coagulant, aluminum-containing waste, wastewater treatment, aluminum oxide, sodium aluminate, IR spectroscopy, XRD, environmental safety.*

Введение. В мире ведутся научные исследования, направленные на уменьшения экологического ущерба химической промышленности на природу, все больше уделяется внимание по внедрению более чистых технологий, улучшаются системы переработки отходов и соблюдаются все более строгие экологические стандарты, безотходные технологии помогают сократить негативное влияние на окружающую среду. Рациональное использование сырьевых ресурсов является в настоящее время актуальной экономической и экологической проблемой и одним из вариантов утилизации алюмосодержащих отходов, это их повторное вовлечение в тот или иной технологический процесс. В нашей стране уделяется большое внимание внедрению инновационных технологий, реализации мер по охране окружающей среды и развитию производственной индустрии.

Основными источниками промышленных отходов являются горнодобывающая промышленность, металлургия, химическая промышленность, энергетика (в 2021 году угольные электростанции произвели около 1,2 млрд тонн золы) строительная отрасль, сельское хозяйство и пищевая промышленность [1].

Среди промышленных отходов значительную часть составляют опасные отходы. Ежегодно в мире образуется около 400 млн тонн опасных отходов (ртуть, свинец, кадмий, нефть и нефтепродукты). Наибольшими производителями таких отходов являются развитые страны (США, Китай, ЕС). Регионы с наибольшими объемами опасных отходов являются такие страны как, Китай - лидер по объемам промышленных отходов (до 3,4 млрд тонн ежегодно), США - более 700 млн тонн ежегодно, Европейский Союз- в 2021 году общий объем промышленных отходов составил около 950 млн тонн. [2-3]. Водные загрязнения в Узбекистане — серьёзная экологическая проблема, связанная

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

с нехваткой водных ресурсов, ухудшением их качества и интенсивной хозяйственной деятельностью. Основными источниками загрязнений являются сельское хозяйство, промышленность и бытовые сточные воды. Основные причины водных загрязнений в Узбекистане - сельское хозяйство, промышленные отходы, бытовые сточные воды, экологические катастрофы. Таким образом, разработка технологии переработки отработанных вредных выбросов производства в Узбекистане, поддержит потребности различных отраслей промышленности и способствует развитию национальной экономики [4-5]. Адсорбция и коагуляция при очистке сточных вод. Потребность в воде в бытовых и промышленных целях продолжает расти с каждым годом. В настоящее время мир сталкивается с водным кризисом из-за к промышленной глобализации, увеличению жилых и коммерческих зон, а также сельскохозяйственных угодий, что приводит к огромному производству сточных вод. Согласно мировым тенденциям, в странах с высоким уровнем дохода очистка муниципальных и промышленных сточных вод составляет около 70%, в странах с уровнем дохода выше среднего и ниже среднего проценты снижаются до 38 и 28% соответственно. Кроме того, в странах с низким уровнем дохода только 8% подвергаются какой-либо очистке, а более 80% всех сточных вод сбрасываются без очистки (WWAP (Организация Объединенных Наций Всемирная программа оценки водных ресурсов (World Water Assessment Programme), [6-7]. Коагуляция — это процесс, при котором загрязняющие вещества, взвешенные частицы, попадают в осадок посредством столкновения с противоположными частицами и образуют агломерат, образуя нерастворимый агломератный комплекс [8-10]. В процессе коагуляции присутствуют коллоидные частицы, которые заряжены отрицательно, что вызывает отталкивание. Коагулянт добавляется для стабилизации коллоидных частиц, чтобы не было силы отталкивания. Обычно добавляемый коагулянт представляет собой полиэлектролит, который приводит к тому, что дзета-потенциал коллоида близок к нулю. Поэтому этот процесс называется механизмом нейтрализации заряда [11].

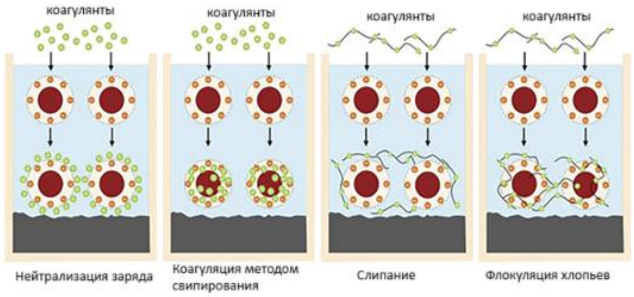

Рис.1. Механизм процесса флокуляции/коагуляции.

Методология исследования. Для получения коагулянта полиалюминия хлорида, в реактор загружают оксид алюминия - отход нефтегазовой промышленности и 50%-ный водный раствор гидроксида натрия в молярном соотношении к оксиду алюминия. Затем температуру в реакторе повышают до 180^0C и реакцию поддерживают при этой температуре до 3 часов. Затем реакционную смесь охлаждают и разбавляют водой. Разбавленную реакционную смесь нейтрализуют (осаждают) в присутствии разбавленных кислот. Полученный осадок несколько раз промывают и сушат. Полученный гидроксид алюминия можно подвергнуть реакции с соответствующими разбавленными кислотами для получения желаемой соли полихлорида алюминия. Необходимо использовать концентрированный раствор NaOH, чтобы ускорить реакцию. Обычно раствор NaOH используется в соотношении 2:1 или 3:1 по отношению к Al_2O_3. После реакции образуется натрий алюминат в виде раствора, который может быть использован в различных химических процессах, таких как получение алюминия хлорида или для очистки воды. Раствор натрия алюмината используется в качестве основного компонента для получения полиалюминия хлорида, важным этапом в производстве коагулянта. Использование натрия алюмината с примесями хлора в качестве коагулянта для очистки воды является эффективным методом, который позволяет удалять загрязнители и улучшать качество воды. Для получения коагулянтов полиалюминий хлорид (ПАХ), мы использовали сырье -оксид алюминия Al_2O_3 местного сырья, гидрооксид

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

натрия и HCl (соляная кислота), Вода, Контроль pH и температуры[12,13].

Результаты и их обсуждение. Этот ИК-спектр принадлежит соединению $AlCl_3$ (хлорид алюминия), записанному с использованием спектрометра Shimadzu. Данный спектр демонстрирует основные характеристики вибрационных мод хлорида алюминия и возможных примесей.

Основные полосы поглощения (в $см^{-1}$): 2997.38 $см^{-1}$ – возможно, связано с колебаниями примесных органических соединений (C-H растяжения), 2445.2 $см^{-1}$ – возможно, проявление обертонных или комбинационных мод, 1633.71 $см^{-1}$ – вероятно, деформационные колебания молекулы воды (H-O-H). Это указывает на присутствие влаги в образце, 1128.36 $см^{-1}$ – возможно, связано с колебаниями Al-Cl, 825.53 $см^{-1}$ – характеристическая полоса хлорида алюминия, 624.94 $см^{-1}$, 597.53 $см^{-1}$, 513.57 $см^{-1}$ – соответствуют колебаниям Al-Cl в различных структурных модификациях. ИК-спектр полихлорида алюминия подтверждает его полимерную природу, сочетая колебания Al-Cl, Al-OH и Al-O. Основные отличия PAC от $AlCl_3$ в спектре - наличие интенсивных полос O-H (3400 $см^{-1}$-2997.38 $см^{-1}$) и H-O-H (1633-1650$см^{-1}$), свидетельствующих о гидролизе. Ослабление и расширение полос Al-Cl, что указывает на образование полимерных структур. 1100–1000 $см^{-1}$ – растяжения Al-OH, характерные для гидролизованных алюминиевых комплексов, 850–600 $см^{-1}$ – растяжения Al-Cl, определяющие основные связи в PAC, 500–400 $см^{-1}$ – колебания Al-O, характерные для оксидных форм алюминия[14,15].

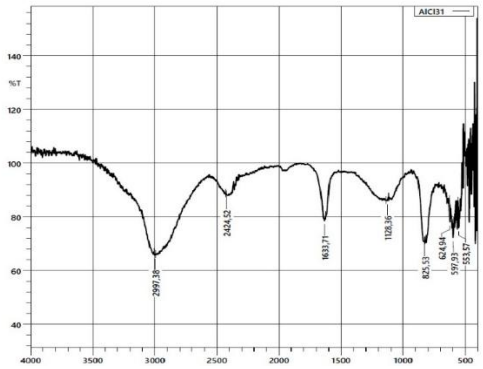

Рис.2. ИК-спектр синтезированного хлорида алюминия $AlCl_3$.

На представленной рентгеновской дифрактограмме (XRD) образца, а (рис. 3. а) полиалюминия хлорид из оксида алюминия (ШГХК) наблюдаются широкие и низкоинтенсивные пики, характерные для аморфных или слабо кристаллизованных веществ. Положение пиков (2θ): от 36° до 3°, с наиболее выраженными максимумами в области 14–20° и 25–30°, включая пики при: 14.16°, 14.87°, 15.87°, 16.87°, 18.22°, 18.93°, 20.13°, 22.27°, 25.4°, 26.7°, 27.0°, 29.5°.

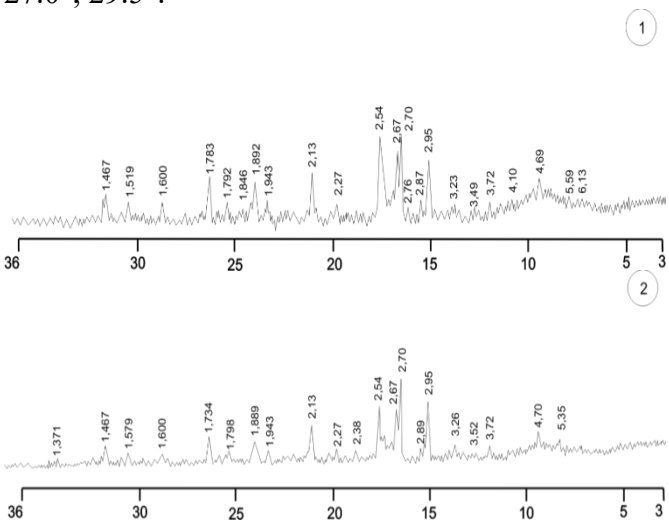

Рис.3. Дифрактограммы (XRD) синтезированных коагулянтов.

1а) полиалюминий хлорид из оксида алюминия (ШГХК), 1б) полиалюминий хлорид из оксида алюминия (БНПЗ), 2а) полиалюминия хлорид из оксида алюминия (ШГХК), 2б) полиалюминий хлорид, полученный из оксида алюминия (БНПЗ).

Интенсивность пиков невысокая, что подтверждает низкую степень кристалличности. Некоторые пики (например, 14.87°, 18.93°, 25.4°, 29.5°) могут указывать на остаточные кристаллические фазы, возможно, оксидов алюминия или промежуточных продуктов гидролиза. Данный образец полиалюминия хлорида, полученного из оксида алюминия (ШГХК), обладает аморфной структурой, что типично для ПАХ-коагулянтов, полученных в условиях частичной гидратации. Такой материал часто обладает высокой реакционной способностью в водной среде за счёт активной поверхности и неупорядоченной структуры. Рентгенограмма образца б полиалюминий хлорид, полученный из оксида алюминия (БНПЗ) (Рис. 3.б). Дифрактограмма образца б характеризуется

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

слабо выраженными и широкими пиками, что свидетельствует о преимущественно аморфной природе материала с присутствием незначительных кристаллических фаз. Наблюдаются пики при следующих значениях 2θ: 13.7°, 14.7°, 15.8°, 17.3°, 17.9°, 19.8°, 21.3°, 22.7°, 26.7°, 27.0°, 28.9°, 29.5°, 33.2°, 35.3° и др. Данный адсорбент — местноё сырьё, содержащий оксид алюминия, который поглотил ионы хлора. В процессе очистки воды используется натрий алюминат с примесями хлора, который является эффективным коагулянтом для удаления загрязняющих веществ, органических соединений и микроорганизмов. Среди них перспективным считается натрий алюминат ($NaAlO_2$), особенно в комбинации с хлорсодержащими компонентами, такими как ион Cl^- и натрий хлорид (NaCl). Использование натрия алюмината с примесями хлора позволяет усилить коагуляционный эффект и расширить спектр действия коагулянта.

Заключение. Представленная научная работа посвящена разработке эффективных и экологически безопасных методов утилизации алюмосодержащих отходов химической и нефтегазовой промышленности путем синтеза коагулянта — полиалюминия хлорида (ПАХ). В контексте глобальных экологических проблем, таких как загрязнение воды и растущее количество промышленных отходов, данное исследование представляет высокую практическую и научную значимость. Проведённые исследования подтвердили возможность эффективного применения алюмосодержащих отходов нефтегазовой промышленности для синтеза полиалюминия хлорида — перспективного коагулянта для очистки сточных вод. Полученный материал обладает аморфной структурой и высоким содержанием активных компонентов, что обеспечивает его эффективность в процессах коагуляции и адсорбции. Разработанная методика утилизации отходов позволяет не только снизить их негативное воздействие на окружающую среду, но и получить продукцию с высокой добавленной стоимостью. Работа имеет важное значение для устойчивого развития, экологической модернизации производств и внедрения безотходных технологий в Узбекистане и других индустриально развивающихся регионах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (ТК ЕАЭС). (2020, 23 октября). Приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе ЕАЭС. Официальный сайт Евразийского экономического союза. https://www.eaeunion.org/
2. Экологические аспекты присоединения России ко Всемирной торговой организации: Доклад Всемирного банка (№ 83505-RU), с. 82.
3. Руководство по защите окружающей среды, здоровья и труда для нефтепереработки. (2007, 30 апреля). Группа Всемирного банка. https://www.ifc.org/ehsguidelines
4. Булатов, В. И. (2021). Отходы нефтегазового комплекса как технологический индикатор геоэкологического состояния регионов России. Энергетика и рациональное природопользование, 7(8), 46–55. https://doi.org/1033619/2414-2948/69
5. Ильгамова, Л. Ф. (2021). Методы утилизации нефтесодержащих сорбентов. В Исследования молодых ученых: материалы XXIX Междунар. науч. конф. (Казань, декабрь 2021 г.) (сс. 7–12). Казань: Молодой ученый. https://moluch.ru/conf/stud/archive/412/16825
6. Sukmana, H. (2021). Adsorption and coagulation in wastewater treatment: Review. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 17(1), 49–68. https://doi.org/10.1556/446.2021.00029
7. Abdelbasir, S. M., & Shalan, A. E. (2019). An overview of nanomaterials for industrial wastewater treatment. Korean Journal of Chemical Engineering, 36(8), 1209–1225.
8. Afroze, S., Sen, T. K., & Ang, H. M. (2016). Adsorption removal of zinc(II) from aqueous phase by raw and base-modified Eucalyptus sheathiana bark: Kinetics, mechanism and equilibrium study. Process Safety and Environmental Protection, 102, 336–352. https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.009

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

9. Ahmad, A. L., Idris, I., Chan, C. Y., & Ismail, S. (2015). Reclamation from palm oil mill effluent using an integrated zero-discharge membrane-based process. Polish Journal of Chemical Technology, 17(4), 49–55. https://doi.org/10.1515/pjct-2015-0068
10. Al-Sahari, M., Al-Gheethi, A. A. S., & Radin Mohamed, R. M. S. (2020). Natural coagulants for wastewater treatment: A review for application and mechanism. B Prospects of Fresh Market Wastes Management in Developing Countries (pp. 17–31). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42641-5_2
11. Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., & Loan, L. W. (2018). Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: A review. International Journal of Engineering & Technology, 7(3.9), 34–37.
12. Isaeva, N. F., Ibodullaev, S., Khodjiev, R., Mirzaeva, Ye., Turdieva, D., & Mamatkulov, Sh. (2022). Complex processing of adsorbent used in the purification of hydrogen-containing gas. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 17(1), 32–45. https://bcrec.id
13. Mustafayev, B. J., Turdieva, D. R., Rahimov, X. B., Yunusov, M. P., Xudayberdiev, A. J., Sayidov, U. X., Maxkamov, X. M., & Isaeva, N. F. (2023). Газ ва суюкликлар таркибидаги хлорли бирикмаларни ютувчи адсорбент олиш усули [Патентная заявка № FAP 20220168]. Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги. (Талабнома келиб тушган сана: 08.06.2023; № FAP 2411).
14. Исаева, Н. Ф., Турдиева, Д. П., Искандаров, Н. Э., & Ходжиев, Р. Г. (2020, 26 ноября). Получение коагулянтов для очистки воды в процессе переработки использованных адсорбентов хлорсодержащих соединений. В Международная конференция «Наука и инновации» (г. Ташкент) (сс. 127–129).
15. Исаева, Н. Ф., Ялгашев, Э., Турдиева, Д., & Мирзаева, Е. (2024). Преобразование отходов и природного сырья в адсорбенты для очистки окружающей среды от вредных веществ. Наука и инновационное развитие, 7(3), 8–26. ONLINE ISSN 2181-4317.